

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2003-75219

(P2003-75219A)

(43)公開日 平成15年3月12日 (2003.3.12)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

G 0 1 F 1/66

識別記号

F I

G 0 1 F 1/66

テマコード<sup>\*</sup>(参考)

Z 2 F 0 3 5

審査請求 未請求 請求項の数15 O.L (全 10 頁)

(21)出願番号 特願2001-270305(P2001-270305)

(22)出願日 平成13年9月6日 (2001.9.6)

(71)出願人 500222021

大西 一正

新潟県長岡市花園東2丁目121番地35

(72)発明者 大西 一正

新潟県長岡市花園東2丁目121番地35

(74)代理人 100074675

弁理士 柳川 泰男

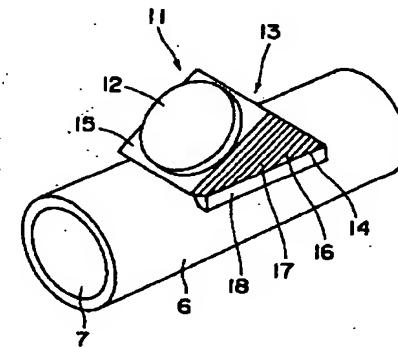
Fターム(参考) 2F035 DA07

(54)【発明の名称】 クランプオン型超音波流量計

(57)【要約】

【課題】 測定感度の高いクランプオン型超音波流量計を提供すること。

【解決手段】 超音波振動子が、底面と該底面に対して鋭角をなす少なくとも一つの斜面を備えた楔型超音波伝搬材の該斜面に装着されてなる超音波送受信器であって、該超音波伝搬材が、超音波振動子から超音波伝搬材に付与された超音波が、超音波振動子装着斜面に対して垂直な方向に伝搬するように、樹脂材料シート中に複数本の高弾性繊維がシート平面に沿って平行に整列配置された構成の繊維強化樹脂シートが複数枚積層一体化された構成にある超音波送受信器を用いてクランプオン型超音波流量計を構成する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 超音波振動子が、底面と該底面に対して鋭角をなす少なくとも一つの斜面を備えた楔型超音波伝搬材の該斜面に装着されてなる超音波送受信器であって、該超音波伝搬材が、超音波振動子から超音波伝搬材に付与された超音波が、超音波振動子装着斜面に対して垂直な方向に伝搬するように、樹脂材料シート中に複数本の高弹性纖維がシート平面に沿って平行に整列配置された構成の纖維強化樹脂シートが複数枚積層一体化された構成にあることを特徴とする超音波送受信器。

【請求項2】 超音波伝搬材が、複数枚の纖維強化樹脂シートが、隣接する各シート内の高弹性纖維の整列方向が互いに直交をなすように交互に積層され、一体化された構成をなしている請求項1に記載の超音波送受信器。

【請求項3】 纖維強化樹脂シートの高弹性纖維の長さ方向の引張弾性率が500GPa以上である請求項1もしくは2に記載の超音波送受信器。

【請求項4】 纖維強化樹脂シートの高弹性纖維が炭素纖維である請求項3に記載の超音波送受信器。

【請求項5】 超音波伝搬材の底部に弹性シートが装着されてなる請求項1乃至4のうちのいずれかの項に記載の超音波送受信器。

【請求項6】 弹性シートの、超音波伝搬材に接する表面とは逆側の表面が凹状に湾曲している請求項5に記載の超音波送受信器。

【請求項7】 弹性シートが、1000～2000m/秒の音波伝搬速度を示す弹性材料から形成されている請求項5もしくは6に記載の超音波送受信器。

【請求項8】 弹性シートが、ポリウレタンゲルから形成されている請求項5乃至7のうちのいずれかの項に記載の超音波送受信器。

【請求項9】 請求項1乃至8のうちのいずれかの項に記載の超音波送受信器が一対、底面に開口を有する細長い形状のケースに、各超音波送受信器の超音波振動子が装着された斜面が互いに対向しないような位置関係で収容固定されてなるクランプオン型超音波流量計。

【請求項10】 請求項1乃至8のうちのいずれかの項に記載の超音波送受信器が一対、底面に開口を有する細長い形状のケースに、各超音波送受信器の超音波振動子が装着された斜面が互いに対向しないような位置関係にあり、かつ超音波送受信器間の距離を任意に変えることができるよう収容されてなるクランプオン型超音波流量計。

【請求項11】 金属製管状体の内部を移動する流体の流量測定用である請求項9もしくは10に記載のクランプオン型超音波流量計。

【請求項12】 ポリ塩化ビニル樹脂製管状体の内部を移動する流体の流量測定用である請求項9もしくは10に記載のクランプオン型超音波流量計。

【請求項13】 内部を流体が移動する管状体に請求項

9もしくは10に記載のクランプオン型超音波流量計が、そのケースの長さ方向と管状体の長さ方向とが一致するように装着固定されてなる流量測定構造体。

【請求項14】 内部を流体が移動する金属製管状体に請求項11に記載のクランプオン型超音波流量計が、そのケースの長さ方向と管状体の長さ方向とが一致するように装着固定されてなる流量測定構造体。

【請求項15】 内部を流体が移動するポリ塩化ビニル樹脂製管状体に請求項12に記載のクランプオン型超音波流量計が、そのケースの長さ方向と管状体の長さ方向とが一致するように装着固定されてなる流量測定構造体。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、クランプオン型超音波流量計に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 クランプオン型超音波流量計は、管状体の外周面の一部に装着し、その管状体の内部を移動する流体の流量を、管状体の外側から測定する流量計である。クランプオン型超音波流量計は、主に、伝搬時間差式とドップラー式に分類できる。伝搬時間差式は、超音波を、管状体の内部を移動する流体を斜めに横切るような経路で往復させ、超音波が往路と復路のそれぞれを伝搬するのに要する時間の差から、流体の流量を測定する方法である。一方、ドップラー式は、流体中に含まれる浮遊粒子や気泡が、流体と同じ速度で移動すると仮定して、浮流粒子などの移動速度から流体の流量を測定する方法である。浮遊粒子などの移動速度は、流体中に超音波を送信して、浮流粒子などに反射された超音波の周波数がドップラー効果により変化することから、超音波の周波数を検出することにより測定する。

【0003】 図11は、従来のクランプオン型超音波流量計の一例の構成を示す断面図である。図11に示すクランプオン型超音波流量計は、伝搬時間差式の流量計である。クランプオン型超音波流量計は、一対の超音波送受信器1a及び1bから構成される。超音波送受信器1aは、超音波振動子2aと楔型超音波伝搬材3aから構成される。楔型超音波伝搬材3aは、底面4aと底面4aに対して鋭角をなす斜面5aを備えている。超音波振動子2aは、楔型超音波伝搬材3aの斜面5aに装着される。そして、超音波振動子2aの楔型超音波伝搬材側の面及びその逆側の面には、超音波振動子2aに電圧を印加するために電極とリード線（図示は略する）が備えられている。同様に、超音波送受信器1bは、超音波振動子2bが、楔型超音波伝搬材3bの斜面5bに装着された構成を有する。

【0004】 超音波振動子2a及び2bのそれぞれは、電極に電圧が印加されると超音波を楔型超音波伝搬材に付与（送信）し、逆に超音波が付与（受信）されると電

極に電圧を生じる。従って、超音波振動子が備えられた超音波送受信器1a及び1bのそれぞれは、超音波の送信器でもあり、受信器でもある。そして、超音波送受信器1a及び1bは、管状体6の内部を移動する流体7の移動方向（図11に記入した矢印8の示す方向）に対して斜めに超音波を送受信するように、管状体6の外周面上に配置される。図11に記入した破線9は、超音波の伝搬経路の例を意味する。

【0005】管状体6の内部を移動する流体7の流量は、下記の様にして測定される。先ず、超音波送受信器1aの超音波振動子2aに電圧パルスを印加して、超音波を送信する。超音波は、図11に示す破線9の方向に沿って、楔型超音波伝搬材3a、管状体6、流体7、管状体6、そして楔型超音波伝搬材3bの順に伝搬して、超音波送受信器1bの超音波振動子2bにより受信されて電圧信号が取出される。超音波送受信器1aが超音波の送信を開始してから、超音波送受信器1bが超音波を受信するまでの時間（T<sub>1</sub>）を検出する。次に、超音波送受信器1bの超音波振動子2bに電圧パルスを印加して、前記とは逆の伝搬経路で超音波を伝搬させ、超音波送受信器1aの超音波振動子2aにより超音波を受信する。超音波送受信器1bが超音波の送信を開始してから、超音波送受信器1aが超音波を受信するまでの時間（T<sub>2</sub>）を検出する。

【0006】超音波が、超音波送受信器1a及び1bの間を伝搬するのに要する時間（T<sub>1</sub>及びT<sub>2</sub>）は、超音波の伝搬する方向（図11に示す矢印9a及び9bの示す方向）により異なる値となる。超音波送受信器1aから超音波送受信器1bに（矢印9aが示す方向に）向かう超音波は、いわば流体の流れに乗って流体中を伝搬するので、伝搬時間（T<sub>1</sub>）は、流体が静止している場合と比べると短い値となる。一方、超音波送受信器1bから超音波送受信器1aに（矢印9bが示す方向に）向かう超音波は、流体の流れに逆らって流体中を伝搬するので、伝搬時間（T<sub>2</sub>）は、流体が静止している場合と比べると長い値となる。これらの伝搬時間の差（T<sub>2</sub> - T<sub>1</sub>）は、流体7の移動速度と相関があり、この伝搬時間の差から流体7の移動速度が算出される。そして、得られた流体の移動速度、管状体6の流水断面積などから流体7の流量を算出することができる。

【0007】このようなクランプオン型超音波流量計には、流体に非接触で流量の測定が可能であるという大きな利点があるところから、その利点を生かすために、流量計の測定感度をさらに高める検討がされている。クランプオン型超音波流量計を高感度とする手段の一つとして、超音波送受信器から送信される超音波の指向性を改善することが挙げられる。超音波送受信器に用いる超音波振動子の寸法は有限であるため、超音波振動子から送信される超音波は、単一の指向性を備えた完全な平面波はとはならず、多少の拡散性を有する。従って、送信側

の超音波送受信器の超音波振動子から送信された超音波は、送信方向（超音波振動子の振動面に垂直な方向）以外の成分を有するために、その一部が受信側の超音波送受信器により受信できずに測定感度が低下する。送信方向からずれた超音波が、受信側の超音波送受信器により受信される場合でも、送信方向に伝搬した超音波と、送信方向からずれた超音波との位相がずれているため、受信信号の波形に乱れを生じて測定感度が低下する。

【0008】特開平7-284198号公報には、超音波振動子と繊維強化樹脂材を積層一体化することにより、超音波振動子から送信される超音波の指向性を改善できることが記載されている。同公報には、超音波振動子と繊維強化樹脂材を積層一体化することにより、超音波振動子の、繊維強化樹脂材の繊維の長さ方向に沿った方向の振動の励起が抑えられ、長さ方向に垂直な方向の振動が強く励起されるため、超音波の指向性を改善できることが記載されている。そして、超音波振動子と繊維強化樹脂材の積層体が、流量計に利用可能であることが示唆されている。

【0009】本発明者は、前述の特開平7-284198号公報の記載をもとに、超音波振動子と、超音波振動子の振動面に平行な方向に繊維が配向した繊維強化樹脂材との積層体を作製した。そして、図12に示すように、作製した超音波振動子2と繊維強化樹脂材9の積層体（超音波送受信器1）を一对を用いて、センサ挿入型の超音波流量計を作製して、流体の流量測定を行った。その結果、送信される超音波の指向性が改善されるために、高感度で流体の流量を測定できることが確認された。

【0010】さらに、作製した積層体を用いて、図13に示すような、クランプオン型超音波流量計を作製した。超音波送受信器1は、従来の超音波送受信器の楔型超音波伝搬材3の斜面に装着された超音波振動子に代え、作製した超音波振動子2と繊維強化樹脂材9の積層体を装着して作製した。ところが、超音波振動子2と繊維強化樹脂材9の積層体を用いることにより、指向性に優れた超音波が送受信されるにも係わらず、クランプオン型超音波流量計の場合には、期待されるほど測定感度が高くならなかった。

【0011】  
【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、測定感度の高いクランプオン型超音波流量計を提供することにある。

【0012】  
【課題を解決するための手段】本発明者は、繊維強化樹脂材を用いたクランプオン型超音波流量計の測定感度を高めるために、超音波送受信器から送信される超音波の指向性や強度などについて詳細な検討を行った。その結果、超音波振動子と繊維強化樹脂材の積層体により、指向性に優れる超音波が送信されるものの、楔型超音波伝

搬材の内部において、超音波の減衰や波形の乱れを生じることがわかった。

【0013】このような超音波の減衰や波形の乱れは、前記の積層体により指向性に優れる超音波を送信しても、送信された超音波（縦波）が楔形超音波伝搬材の内部を伝搬する際に、その一部が横波となってしまうことが原因で生ずると推測される。横波の発生により、正常な（超音波振動子の振動面に垂直な方向に伝搬する）超音波の強度が低下し、さらに、発生した横波が正常な超音波と重なり合って超音波の波形に乱れを生じさせると考えられる。

【0014】本発明者は、楔形超音波伝搬材の全体を繊維強化樹脂材から形成することにより、指向性に優れる超音波を、楔形超音波伝搬材の内部で減衰させずに管状体に送信でき、従来よりも極めて高感度のクランプオン型超音波流量計を提供できることを見出した。

【0015】本発明は、超音波振動子が、底面と該底面に対して鋭角をなす少なくとも一つの斜面を備えた楔型超音波伝搬材の該斜面に装着されてなる超音波送受信器であって、該超音波伝搬材が、超音波振動子から超音波伝搬材に付与された超音波が、超音波振動子装着斜面に対して垂直な方向に伝搬するように、樹脂材料シート中に複数本の高弹性繊維がシート平面に沿って平行に整列配置された構成の繊維強化樹脂シートが複数枚積層一体化された構成にあることを特徴とする超音波送受信器である。

【0016】本発明の超音波送受信器の好ましい態様は、以下の通りである。

（1）超音波伝搬材が、複数枚の繊維強化樹脂シートが、隣接する各シート内の高弹性繊維の整列方向が互いに直交をなすように交互に積層され、一体化された構成をなしている。

（2）繊維強化樹脂シートの高弹性繊維の長さ方向の引張弹性率が50GPa以上である。

（3）繊維強化樹脂シートの高弹性繊維が炭素繊維である。

（4）超音波伝搬材の底部に弹性シートが装着されている。

（5）弹性シートの、超音波伝搬材に接する表面とは逆側の表面が凹状に湾曲している。

（6）弹性シートが、1000～2000m/sの音波伝搬速度を示す弹性材料から形成されている。

（7）弹性シートが、ポリウレタンゲルから形成されている。

【0017】本発明はまた、前記の超音波送受信器が一对、底面に開口を有する細長い形状のケースに、各超音波送受信器の超音波振動子が装着された斜面が互いに対向しないような位置関係で収容固定されてなるクランプオン型超音波流量計にもある。

【0018】本発明はまた、前記の超音波送受信器が一

対、底面に開口を有する細長い形状のケースに、各超音波送受信器の超音波振動子が装着された斜面が互いに対向しないような位置関係にあり、かつ超音波送受信器間の距離を任意に変えることができるよう収容されてなるクランプオン型超音波流量計にもある。

【0019】前記の二種類の本発明のクランプオン型超音波流量計は、金属製管状体の内部を移動する流体の流量測定用、もしくはポリ塩化ビニル樹脂製管状体の内部を移動する流体の流量測定用であることが好ましい。

10 【0020】本発明はまた、内部を流体が移動する管状体に、前記のクランプオン型超音波流量計が、そのケースの長さ方向と管状体の長さ方向とが一致するように装着固定されてなる流量測定構造体にもある。本発明の流量測定構造体において、管状体は、鉄管、ステンレス管などの金属製の管状体、もしくはポリ塩化ビニル樹脂製の管状体であることが好ましい。

【0021】

【発明の実施の形態】本発明の超音波送受信器について、添付の図面を用いて説明する。図1は、本発明の超音波送受信器の一例の構成を示す斜視図である。図1に示す本発明の超音波送受信器11は、超音波振動子12と楔形超音波伝搬材13から構成される。楔形超音波伝搬材13は、底面14と底面14に対して鋭角をなす斜面15を備えている。超音波振動子12は、楔形超音波伝搬材13の斜面15に装着される。そして、超音波振動子12の楔形超音波伝搬材側の面及びその逆側の面には、超音波振動子12に電圧を印加するために電極とリード線（図示は略する）が備えられている。そして、超音波振動子12から楔形超音波伝搬材13に付与された超音波が、超音波振動子装着斜面15に対して垂直な方向に伝搬するように、楔形超音波伝搬材13は、樹脂材料シート中に複数本の高弹性繊維16がシート平面に沿って平行に整列配置された構成の繊維強化樹脂シートが複数枚積層一体化された構成を有する。高弹性繊維16は、繊維の長さ方向が、楔形超音波伝搬材13の斜面15（超音波振動子12の振動面）に平行となるように整列配置している。

30 【0022】このように、超音波送受信器の楔形超音波伝搬材の全体を繊維強化樹脂材から形成することで、流量計を高感度にできる原因是、以下のように推測される。

（1）高弹性繊維を楔形超音波伝搬材の斜面（超音波振動子の振動面）に平行な方向に整列配置させることで、超音波振動子の振動面に沿った方向の振動の励起が抑えられ、超音波振動子の振動面に垂直な方向の振動が強く励起される。このため、超音波振動子の振動面から送信される超音波の指向性が改善されて、流量計の測定感度が高くなる。

40 【0023】（2）一般に、超音波（縦波）が固体中を伝搬する際に、その一部は横波となる。楔形超音波伝搬

材の斜面に垂直（超音波振動子の振動面に垂直）な方向に沿った超音波の伝搬経路には、整列配置された高弾性繊維の間にある樹脂17が存在する。この樹脂の部分において、超音波の一部は横波になると考えられる。ところが、高弾性繊維が超音波の伝搬方向に間欠的に存在するため、超音波振動子により送信された超音波と同じ方向に伝搬する横波は発生しにくいと考えられる。即ち、超音波と同じ方向に伝搬する横波の振動方向は、超音波の伝搬方向と垂直な方向であり、この方向の振動の励起が高弾性繊維により抑えられるために、超音波と同じ方向に伝搬する横波が発生し難いと考えられる。楔形超音波伝搬材の内部で横波の発生が抑えられることにより、超音波振動子の振動面に垂直な方向に伝搬する超音波（縦波）に減衰が生じず、横波により生じる波形の乱れも発生し難くなり、流量計の測定感度が高くなると考えられる。

【0024】高弾性繊維16が整列配置する方向は、楔形超音波伝搬材13の斜面15（超音波振動子12の振動面）に平行であれば、特に制限は無いが、製造のし易さ、コストの面で、前記の斜面15に平行な、一方向または二方向に整列配置させることが好ましい。

【0025】楔形超音波伝搬材13の斜面15に平行な一方向のみに高弾性繊維16を整列配置させる場合は、図1に示すように、高弾性繊維16の長さ方向を楔形超音波伝搬材13の底面14に投影した線と、斜面15の法線を前記の底面14に投影した線とが平行であることが好ましい。高弾性繊維を斜面に平行な一方向のみに整列配置した場合、（斜面と平行で）高弾性繊維と直交する方向には、弾性繊維による制振効果が小さいために、若干の振動の励起を生じてノイズの原因となる場合がある。このような振動の励起があった場合にも、図1に示すように繊維を整列配置すると、励起された振動による音波は、伝搬方向が楔形超音波伝搬材の側面に垂直な方向であるために、管状体には伝搬し難い。逆に、高弾性繊維を、斜面と平行で、側面に垂直な一方向に整列配置すると、（斜面と平行で）高弾性繊維と直交する方向に励起された振動による音波は、伝搬方向が、先の場合の繊維の長さ方向と同方向となり、管状体に伝播してノイズとなり、測定感度を低下させる場合がある。

【0026】楔形超音波伝搬材13の斜面15に平行な二方向に高弾性繊維16を整列配置させる場合は、楔形超音波伝搬材13を、複数枚の繊維強化樹脂シートが、隣接する各シート内の高弾性繊維の整列方向が互いに直交をなすように交互に積層され、一体化された構成とすることが好ましい。楔形超音波伝搬材13は、市販の繊維強化樹脂材を切削加工して形成することができる。

【0027】超音波振動子の振動面に沿った方向の振動の励起を抑制するため、高弾性繊維の長さ方向の引張弾性率は、50GPa以上であることが好ましく、100GPa以上であることがより好ましい。高弾性繊維の例

としては、炭素繊維、炭化ケイ素繊維、ナイロン繊維、ポリアミド繊維、およびアラミド繊維などが挙げられ、炭素繊維もしくは炭化ケイ素繊維を用いることが好ましい。また、繊維強化樹脂シートの樹脂材料の例としては、エポキシ樹脂、ナイロン樹脂、ポリイミド樹脂、PEEK（ポリエーテルエーテルケトン）、フェノール樹脂、不飽和ポリエステル樹脂、ポリアミド樹脂、ポリカーボネート樹脂、およびポリアミドイミド樹脂などが挙げられ、エポキシ樹脂を用いることが好ましい。

10 【0028】楔形超音波伝搬材13と管状体6との間に空気（隙間）が存在すると、空気の音響インピーダンスが小さいために、超音波が楔型超音波伝搬材と空気の界面で反射してしまうため、楔型超音波伝搬材13と管状体6との隙間には、接触媒質を充填することが好ましい。管状体6の外周面上に接触媒質を塗布してから超音波送受信器11を管状体6に押し付けることで、前記の隙間に接触媒質を充填することができる。このような、超音波の伝搬経路から空気を排除するために用いる接触媒質としては、公知の材料を用いることができる。接触媒質としては、気泡が残りにくい液体またはペースト状の材料が用いられ、一般には、水、油、水ガラス、グリース、ワセリンなどが用いられる。超音波送受信器を管状体に固定して、継続的に流体の流量を測定する場合には、接触媒質としてはグリースを用いることが好ましい。

20 【0029】また、楔形超音波伝搬材13の底面14が、管状体6の外周面と密着するように、底面14を凹状に加工することも好ましい。ただし、繊維強化樹脂材から形成された楔形超音波伝搬材13の底面14を曲面に加工することは手間がかかるため、楔形超音波伝搬材13の底面14に弾性シート18を装着することが好ましい。弾性シート18の存在により、管状体6の外周面において超音波送受信器11を安定に配置でき、位置の調整も容易となる。弾性シートは、1000～2000m/sの音波伝搬速度を示す弾性材料から形成することが好ましい。弾性シートは、樹脂や金属などの固体材料（弾性材料）を成形加工して作製してもよいが、ゲル状の弾性材料から形成することが、管状体との密着性を容易に確保するために好ましい。ゲル状の弾性材料には、軟質エラストマーが含まれる。このようなゲル状の弾性材料の例としては、シリコーンゲル、ポリウレタンゲル、ポリウレタンエラストマーなどが挙げられ、ポリウレタンゲルを用いることが好ましい。

30 【0030】次に、本発明の超音波送受信器の別の態様について説明する。図2は、本発明の超音波送受信器の別の一例の構成を示す斜視図である。図2に示す超音波送受信器11は、楔形超音波伝搬材の形状が異なる以外は、図1に示した超音波送受信器と同様の構成である。超音波を、超音波振動子装着斜面に垂直に伝搬させるためには、図1に示した構成の楔型超音波伝搬材の形状で

十分であるが、図2に示すように、楔形超音波伝搬材13の上側に、底面14と平行な面を設けることが好ましい。このような面に楔型超音波伝搬材固定用のボルト穴19を設けることで、超音波送受信器11の管状体6の外周面に対する位置を、ボルトを用いて容易に固定できる。具体的な固定の方法については、後述する。このような楔形超音波伝搬材13の一例の構成の具体的な寸法（単位：mm）を、図3に記載する。図3において（a）は、楔形超音波伝搬材13の側面図を、そして（b）は、楔形超音波伝搬材13の側面図を示す。

【0031】前述のように、クランプオン型超音波流量計には、伝搬時間差式、ドップラー式のように多くの種類があり、用いられる超音波送受信器の数も様々である。クランプオン型超音波流量計については、「流量計測A to Z」（日本計量機器工業連合会編、第8章、1995）に詳しく記載がある。本発明の超音波送受信器は、様々な種類のクランプオン型超音波流量計のいずれにも好ましく用いることができる。図4に、本発明の超音波送受信器を用いたV式のクランプオン型超音波流量計の一例の構成の断面図を、図5に、Z式のクランプオン型超音波流量計の一例の構成の断面図を示す。図4および図5に示すクランプオン型超音波流量計は、いずれも伝搬時間差式の流量計である。Z式、V式とは、流体中の超音波の伝搬経路9の形状から命名されている。V式のクランプオン型超音波流量計は、Z式に比べて、超音波伝搬経路9が長いために測定感度が高く、管状体を挟んで超音波送受信器を配置する必要がないために設置が容易であるという利点がある。

【0032】次に、本発明のクランプオン型超音波流量計について説明する。図6は、本発明のクランプオン型超音波流量計の一例の構成を示す一部切欠き斜視図である。本発明のクランプオン型超音波流量計は、基本的には一对の超音波送受信器と、それぞれの超音波送受信器の管状体に対する位置を固定する手段からなる。図6に示すように、本発明のクランプオン型超音波流量計は、前記の本発明の超音波送受信器が一对（11a及び11b）、底面に開口を有する細長い形状のケース20に、各超音波送受信器の超音波振動子が装着された斜面が互いに対向しないような位置関係で収容固定されてなる。ケース20は、ケース本体21とケース蓋22から構成される。ケース本体21とケース蓋22は、ねじ28により固定される。

【0033】管状体の寸法（内径および外径）と材質が予めわかれば、超音波送受信器11aと11bの最適な位置関係は算出できるので、超音波送受信器のそれぞれを、ケース蓋22にボルト23を用いて固定する。このように予め一对の超音波送受信器間の位置関係を固定しておくことで、既設の管状体（化学プラントの配管など）にクランプオン型超音波流量計を装着する作業が容易となる。

【0034】流量計と管状体は、管状体6をケース20と流量計固定材24により挟んで、ケース20と流量計固定材24をねじ25により締め付けることにより、簡便且つ確実に固定することができる。流量計の管状体への固定方法は、前記の方法に限定されず、ゴムバンドなどを用いてケース本体20と管状体6を締め付けて固定してもよい。

【0035】管状体の寸法（内径および外径）や材質が不明な場合などは、一对の超音波送受信器間の距離を、流量計を設置する際に設定する必要がある。このため、ケース20の蓋に、超音波送受信器の装着位置調整用長穴26を設けるなどして、流量計を、超音波送受信器間の距離を任意に変更できる構成とすることもできる。

【0036】本発明のクランプオン型超音波流量計に用いる楔形超音波伝搬材の音波伝搬速度の値は、高弾性繊維の長さ方向に垂直な方向で、3000m/s程度である。楔形超音波伝搬材から管状体に超音波が伝搬する場合、管状体の外周の表面においては、スネルの法則により下記式（1）で示される関係が成立する。

【0037】（1） $\sin \alpha / \sin \beta = C_1 / C_2$   
式（1）において、 $C_1$ は、楔形超音波伝搬材の音波伝搬速度を表し； $C_2$ は、管状体の音波伝搬速度を表し； $\alpha$ は、音波の入射角を表し；そして $\beta$ は、音波の屈折角を表す。

【0038】楔型超音波伝搬材と管状体の音波伝搬速度の値の差が小さい場合、入射角 $\alpha$ を大きく設定することにより、屈折角 $\beta$ を、（入射角 $\alpha$ に近い値にまで）大きく設定でき、流体中における超音波の伝搬距離を長く設定することができる。流体中における超音波の伝搬距離を長く設定できると、小さな流量に対しても、大きな伝搬時間から流量測定ができるために、測定感度の高い流量計を設計することができる。

【0039】一方、楔形超音波伝搬材と管状体の音波伝搬速度の値の差が大きいと、スネルの法則により配管外周面において超音波が全反射したり、あるいは管状体内部に超音波が伝搬しても屈折角 $\beta$ が（音波伝搬速度の差が小さい場合と比べて）小さい値となる場合がある。例えば、 $C_1 < C_2$ の場合は、 $C_1$ と $C_2$ の差が大きいほど臨界角が小さくなり、入射角 $\alpha$ を大きな値に設定すると、超音波が管状体の外周面で全反射してしまう場合がある。一方、 $C_1 > C_2$ の場合には、全反射は生じないが、 $C_1$ と $C_2$ の差が大きいほど、設定した入射角 $\alpha$ に対して、屈折角 $\beta$ は小さな値に（流体中における超音波の伝搬距離が短く）なってしまう。従って、楔形超音波伝搬材と管状体の音波伝搬速度の値の差が大きいと、音波伝搬速度の差が小さい場合と比べて、測定感度の高い流量計を設計することが難しくなる場合がある。

【0040】従って、本発明のクランプオン型超音波流量計は、楔形超音波伝搬材の音波伝搬速度に近い音速を示す材料から形成された管状体の内部を移動する流体の

流量測定用に用いることが好ましい。好ましい管状体の例としては、金属（例えば、ステンレスの音波伝搬速度：約5000m/秒）製の管状体、およびポリ塩化ビニル樹脂（音波伝搬速度：約2200m/秒）製の管状体が挙げられる。これらの管状体の内部を移動する流体の流量を測定する場合、楔形超音波伝搬材の底面と斜面のなす角度（即ち、管状体の外周面における超音波の入射角）は、25乃至45度の範囲にあることが好ましい。

【0041】なお、流量測定の際には、楔形超音波伝搬材と管状体の間に接触媒質もしくは弾性シートが存在するが、上記においてはこれらを無視して簡略に説明した。実際の流量計は、これらの存在を考慮して設計するが、上記の様にスネルの法則により計算を行えば、同様の結論が得られる。

【0042】また、化学プラントなどにおける既設の配管の取り外しが可能である場合には、予め管状体とクランプオン型超音波流量計とを一体化させた流量測定構造体を用いることもできる。このような構成とすることで、予め超音波送受信器の位置関係を精密に調整した（管状体とクランプオン型超音波流量計が一体となつた）流量測定構造体と、既設の配管を交換するのみで、直ちに流量の測定が可能となる。このような本発明の流量測定構造体は、図6に示すように、ケース20の長さ方向と管状体6を、ケースの長手方向と管状体の長さ方向とが一致するように固定することで得られる。このように固定するためには、ケース20と流量計固定材24により管状体6を挟み、ねじ25などの固定手段により、ケース20と固定材24とを締め付け固定すればよい。管状体6の好ましい材質は、前記の本発明のクランプオン型超音波流量計の場合と同様である。

#### 【0043】

【発明の効果】本発明の超音波送受信器は、指向性に優れた超音波を楔形超音波伝搬材の内部での減衰なく管状体に送信することができる。このため、本発明の超音波送受信器を用いることにより、高感度のクランプオン型超音波流量計を提供することができる。そして本発明の超音波送受信器を一対用いて構成される、本発明のクランプオン型超音波流量計は、超音波送受信器の位置関係の設定が容易であり、流量計を簡単に管状体に設置できる。また、管状体とクランプオン型超音波流量計とを一体化した本発明の流量測定構造体は、既設の配管と流量測定構造体を交換するのみで高感度の流量測定を行うことができる。

#### 【0044】

【実施例】【比較例1】外径34mmのステンレス製の管状体に水を流し、市販のクランプオン型超音波流量計（東京計装（株）製）を用いて、超音波の送受信を行った。V法により超音波が送受信されるよう、一対の超音波送受信器を、管状体の表面にグリースを介して配置し

た。送信側の超音波送受信器の超音波振動子に電圧バルス（バルス幅0.5μs、バルス高さ30V）を印加して超音波を送信し、受信側の超音波送受信器により超音波を受信した。受信側の超音波送受信器において得られた電圧波形を、図7に示す。図7の電圧波形において、横軸は時間、そして縦軸は電圧を表す。得られた電圧波形の最大の振幅は、0.66Vであった。

【0045】【実施例1】先ず、エボキシ樹脂と、炭素繊維（繊維の長さ方向の引張弾性率240GPa）から構成された繊維強化樹脂材を切削加工して、図2に示す形状の楔形超音波伝搬材を作製した。次に、二液硬化型のポリウレタンゲルを型枠に流し込んだのちに常温硬化させて、図2に示す形状の弾性シートを成形した。弾性シートの超音波伝搬材に接する表面とは逆の面は、管状体の外周面と密着するように凹状に湾曲した形状とした。作製した楔形超音波伝搬材の底面に弾性シートを、そして斜面にジルコン酸チタン酸鉛系の市販の超音波振動子（直径10mm、厚さ1mm）を貼り合わせた。この様にして、図2に示す構成の超音波送受信器を作製した。

【0046】高弾性繊維は、図2に示すように超音波振動子の振動面に平行な一方に整列配置させた。また、楔形超音波伝搬材の底面と斜面のなす角度は、35°（即ち底面における超音波の入射角は55°）であった。

【0047】作製した超音波送受信器を一対用いる以外は比較例1と同様にして、超音波の送受信を行った。受信側の超音波送受信器で得られた電圧波形を、図8に示す。図8の電圧波形において、横軸は時間、そして縦軸は電圧を表す。得られた電圧波形の最大の振幅は、1.04Vであった。

【0048】従って、送信側の超音波振動子に同じ電圧バルスを印加して超音波を送信した場合、受信側の超音波送受信器の超音波振動子から出力される電圧値は、従来の流量計の1.5倍以上であり、本発明の超音波送受信器を用いたクランプオン型超音波流量計は、非常に高感度であることがわかる。

【0049】【比較例2】外径1インチのポリ塩化ビニル樹脂製の管状体を用いること以外は比較例1と同様にして、超音波の送受信を行った。受信側の超音波送受信器において得られた電圧波形を、図9に示す。図9の電圧波形において、横軸は時間、そして縦軸は電圧を表す。得られた電圧波形の最大の振幅は、1.31Vであった。ただし、得られた電圧波形には大きな波形の乱れ（うねり）が観測された。このように電圧波形に大きなうねりが存在すると、信号の受信開始点を定めるためのしきい値電圧の設定が難しく、超音波伝搬時間の検出に誤差を生じるために測定感度が低下する。

【0050】【実施例2】実施例1で作製した超音波送受信器一対を用いる以外は比較例2と同様にして、超音

波の送受信を行った。受信側の超音波送受信器で得られた電圧波形を、図10に示す。図10の電圧波形において、横軸は時間、そして縦軸は電圧を表す。得られた電圧波形の最大の振幅は、1.29Vであった。得られた電圧波形に最大の振幅値は、比較例2とほぼ同じであるが、得られた電圧波形には、比較例2で観測されたような大きな波形の乱れは無かった。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の超音波送受信器の一例の構成を示す斜視図である。

【図2】本発明の超音波送受信器の別の一例の構成を示す斜視図である。

【図3】図2に示す楔型超音波伝搬材の一例の構成の寸法を示す図である。

【図4】本発明の超音波送受信器を用いたZ式のクランプオン型超音波流量計の一例の構成を示す断面図である。

【図5】本発明の超音波送受信器を用いたV式のクランプオン型超音波流量計の一例の構成を示す断面図である。

【図6】本発明のクランプオン型超音波流量計の一例の構成を示す一部切欠き斜視図である。

【図7】比較例1において、受信側の超音波送受信器から出力された電圧波形を示す図である。

【図8】実施例1において、受信側の超音波送受信器から出力された電圧波形を示す図である。

【図9】比較例2において、受信側の超音波送受信器から出力された電圧波形を示す図である。

【図10】実施例2において、受信側の超音波送受信器から出力された電圧波形を示す図である。

【図11】従来のクランプオン型超音波流量計の一例の構成を示す断面図である。

【図12】繊維強化樹脂材を用いたセンサ挿入型の超音波流量計の構成を示す断面図である。

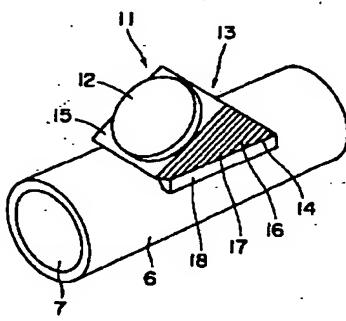
\* 【図13】繊維強化樹脂材を用いたクランプオン型超音波流量計の構成を示す断面図である。

【符号の説明】

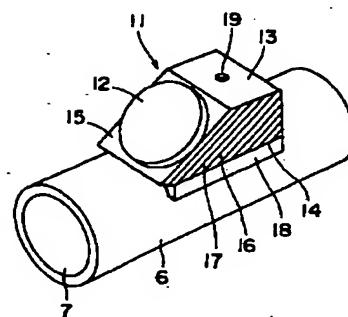
- 1、1a、1b 超音波送受信器
- 2、2a、2b 超音波振動子
- 3、3a、3b 楔形超音波伝搬材
- 4、4a、4b 底面
- 5、5a、5b 斜面
- 6 管状体
- 7 流体
- 8 流体の移動方向
- 9 超音波の伝搬経路の例
- 9a、9b 超音波の伝搬方向を示す矢印
- 10 繊維強化樹脂材
- 11、11a、11b 超音波送受信器
- 12、12a、12b 超音波振動子
- 13、13a、13b 楔形超音波伝搬材
- 14 底面
- 15 斜面
- 20 16 高弹性綫維
- 17 樹脂
- 18、18a 弹性シート
- 19 ボルト穴
- 20 ケース
- 21 ケース蓋
- 22 ケース本体
- 23 ボルト
- 24 流量計固定材
- 25 ねじ
- 26 超音波送受信器の装着位置調整用長穴
- 27 リード線
- 28 ねじ

\*

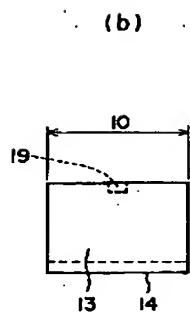
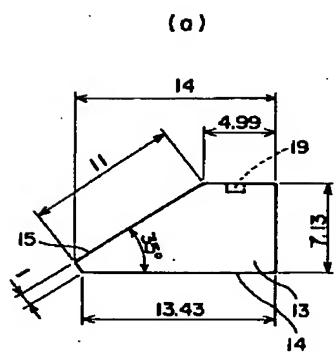
【図1】



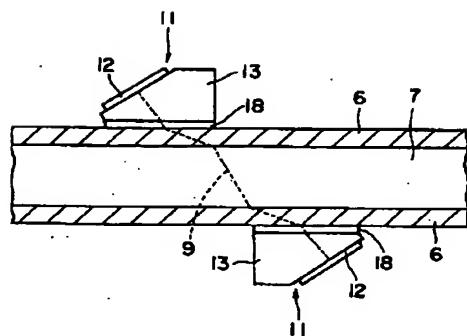
【図2】



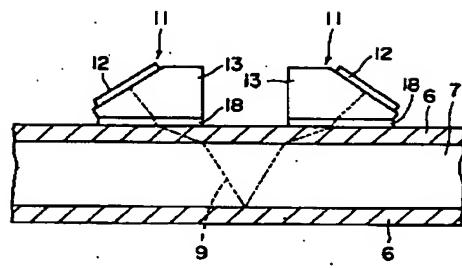
【図3】



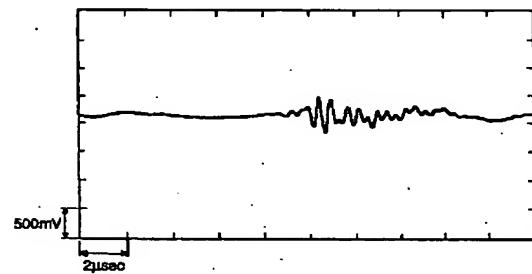
【図4】



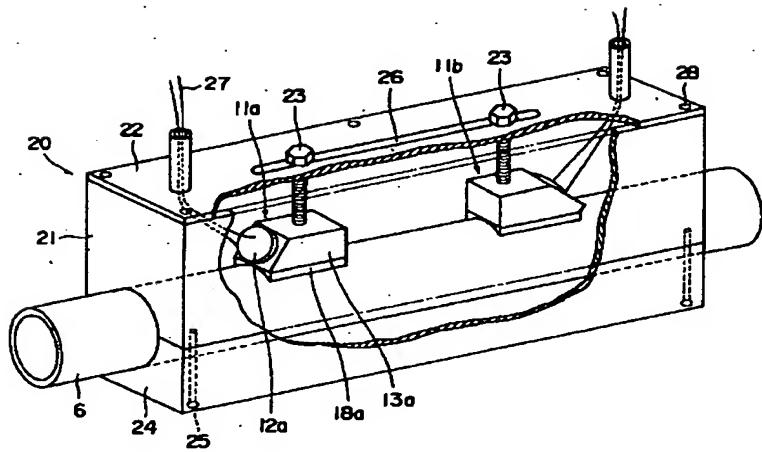
【図5】



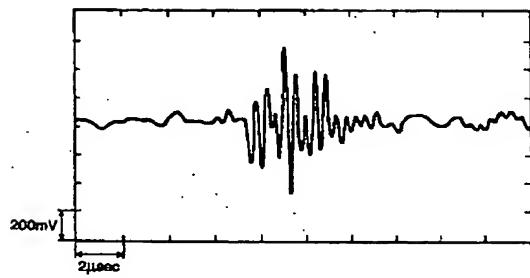
【図7】



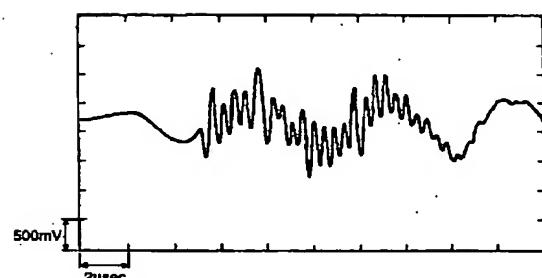
【図6】



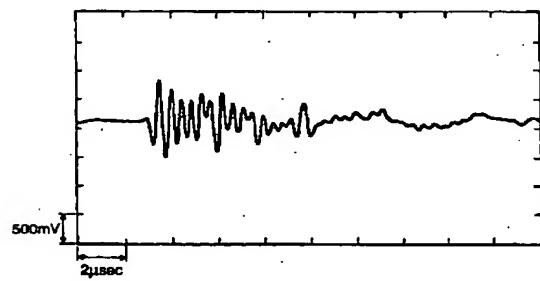
【図8】



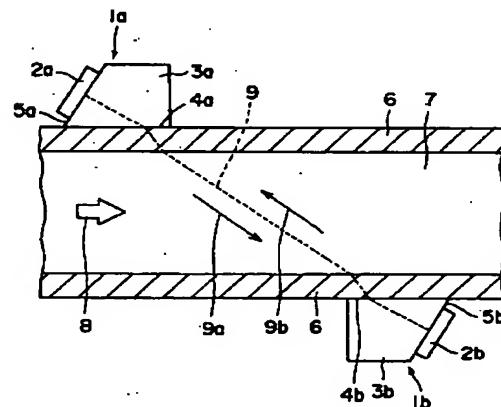
【図9】



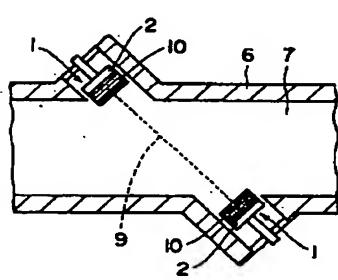
【図10】



【図11】



【図12】



【図13】

